

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-096712

(43)Date of publication of application : 08.04.1994

(51)Int.Cl.

H01J 37/28

H01J 37/244

H01J 37/30

H01L 21/265

H01L 21/302

H01L 21/66

(21)Application number : 04-244337

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 14.09.1992

(72)Inventor : ARAKAWA FUMIKO

DOI HIROSHI

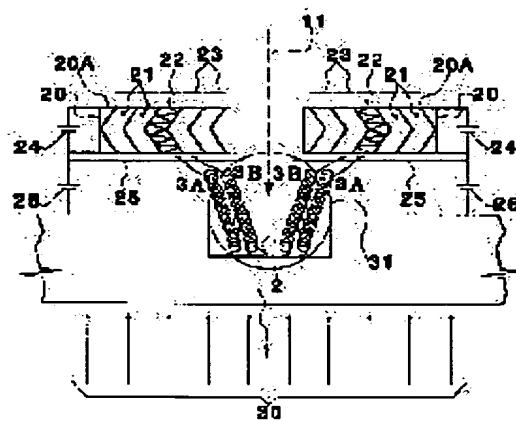
MAMADA MICHIRO

(54) FOCUSED ION BEAM DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To detect two kinds or more of elements and to enhance the selectivity of elements and the accuracy of work by providing substantially two or more secondary particle detectors, and also providing means for deflecting the path for discharging secondary particles.

CONSTITUTION: In a focused ion beam device (FIB), substantially two or more secondary particle detectors 20 are provided, thereby being able to detect of two kinds or more respectively different secondary particles 3A, 3B, for instance, electrons and ions can be separately detected. Further, the path for discharging a secondary particle 3 is deflected with a magnetic field 31, whereby a light particle 3A is deflected in a larger degree than a heavy particle 3B so as to be able to increase selectivity of elements, so that the accurate element analysis and also the structure analysis can be



performed in the FIB. Also, the sputter etching can be performed by an ion beam 11 with the secondary electron image being observed, so that the accuracy of work can be increased.

**\* \* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A means which carries out sputter etching of the specimen surface of a field where converged, deflected an ion beam, a specimen surface was irradiated, and this ion beam was irradiated.

A means by which a secondary particle detector detects secondary particles emitted from this field by which sputter etching was carried out.

It had a means to have been the focused ion beam device provided with the above, and to have provided two or more of said secondary particle detector substantially, and to deflect a releasing path of said secondary particle.

[Claim 2]Said focused ion beam device according to claim 1 provided with a means to create a picture among secondary particles detected with said secondary particle detector based on information on a secondary electron.

[Claim 3]Said focused ion beam device according to claim 2 adding a magnetic field in the direction which is in agreement with the direction of radiation of an ion beam from a rear face of a sample which counters a side with which said ion beam is irradiated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]About the device used for the failure analysis of a semiconductor integrated circuit device, especially, this invention is applied to a focused ion beam device, and relates to effective art.

[0002]

[Description of the Prior Art]A minimum working dimension is being set to 0.5 micrometer or less in connection with high integration of a semiconductor integrated circuit device, and minuteness making. For this reason, in order to conduct failure analysis of a semiconductor integrated circuit device, the focused

ion beam (FIB:FocusedIonBeam) device (henceforth FIB) is used. By using FIB, cross section processing of minute regions of 0.5 micrometer or less can be performed. About a FIB device, for example, (1) KNikawa et al.; New applications of focused ion beam technique to failure analysis and process monitoring of VLSI; 27th annual proceedings of International Reliability Physics Symposium, P43 (1989), (2) Anazawa Norimichi, Aihara Ryuzo: It is indicated, without applied physics 53(1984)193.

[0003]In FIB, it converges, the ion beam discharged from ion guns (ion gun) is deflected, and a sample is irradiated as indicated in said literature. Gallium is used as an ion source. Sputter etching of the specimen surface is carried out by irradiating a sample with a gallium ion beam. The beam diameter of an ion beam is 50 thru/or about 500 nm. Thus, secondary particles are emitted from a specimen surface by carrying out sputter etching of the specimen surface. The secondary particle detector which detects this emitted secondary particle is substantially built into said FIB one piece. Since either a secondary electron, negative secondary ion or positive secondary ion is detectable among the secondary particles emitted using this secondary particle detector, The terminal point judging at the time of processing can be performed by the sample in which element structure has the simple three-dimensional structure (for example, the aluminum which is uniform in an irradiation area and differs only in the direction of z, and silicon in a x direction and a y direction. laminated structure) by graph-izing a dose and intensity of secondary particles to expose a ground.

[0004]This FIB is equipped with the scanning ion microscope (below SIM:ScanningIonMicroscope: calls it SIM) function. A SIM image detects the secondary electron emitted by irradiating with the ion beam of said FIB with said detector, and creates the picture by this detected secondary electron. In said FIB, it is used in the time of FIB and SIM, switching each of said ion guns and a detector, and the SIM image by the intensity measurement of secondary ion and a secondary electron is created independently.

[0005]The method of failure analysis of having used FIB for below is explained.

[0006]First, with the SIM function built in FIB, a beam is extracted thinly and the shape of a specimen surface is observed. Then, the field ahead of that section is made to scan in the direction of X, and the direction of Y, and this field is removed so that the section which wishes the ion beam (a beam becomes thick) which increased current may be exposed. Under the present circumstances, the two-dimensional structure (a x direction, a y direction) of a sample is uniform, at the time of the simple structure from which only the depth differs by a three dimension, as mentioned above, by detecting secondary particles, a dose and intensity of secondary particles are graph-ized and the terminal point judging of etching is performed. Thus, with the intensity of secondary particles, when element structure is the easy three-dimensional structure, although the kind of element cannot be judged, it can detect that an element is different.

[0007]When element structure is the complicated three-dimensional structure, a secondary ion mass analyzer (below SIMS:ScoundaryIonMassSpectrometer: calls it SIMS) is used so that it may mention later. SIMS — P289-P318, and 1985 issue "microbeam analysis" (2) "electronic industry material" 1983 [ for example, the 141st committee of (1) microbeam analysis, and ] Separate volume It is indicated to P120.

[0008]Next, again, an ion beam is extracted thinly and section observation of the sample (section observation sample) which exposed the desired section is carried out by a SIM image. At this time, the side of the hole which the sample table stage was made to incline and was processed is observed. Then, even if there are not shape of unevenness of a section and unevenness, distribution of depth directions, such as a

difference in an element, is observable from the difference of the yield of secondary particles. However, the resolution of a SIM image is 50 nm as mentioned above.

[0009]When the fine structure of a section needs to be observed, section observation of the sample which was made to expose the section of said request described below, and was processed is carried out with a scanning electron microscope (below SEM:ScanningEelectronMicroscope: calls it SEM). Since the resolution of SEM is about 4 nm, a structure very more detailed than SIM is observable. Identification of an element cannot be performed even if it uses SIM and SEM. SIMS is used, when are contained mostly (1% or more) and EPMA (ElectronProbeMassAnalysis: X-ray microanalysis) is little, in order to conduct ultimate analysis here. EPMA is indicated, for example, without the 141st committee of (1) microbeam analysis, 1985 year issue "microbeam analysis" P207-P235, and (2) S.M.SZE "VLSI Technology" P533. Failure analysis is conducted by these means of a series of.

[0010]In order to create the sample for section observation using SEM, FIB is used, and also there are a mechanical-polishing method and the cracking method. However, since the sample is processed using an optical microscope in the case of a mechanical-polishing method, dimensional accuracy is about 0.5 micrometer and there is a problem that 0.5-micrometer Suemitsu's infinitesimal area is unobservable. In the case of the cracking method, dimensional accuracy is 0.5 micrometers or more, and there is a problem that 1-micrometer Suemitsu's infinitesimal area is unobservable, like the case of a mechanical-polishing method.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, this invention person found out the following problems, as a result of examining said conventional technology.

[0012]As mentioned above, the structure of an element is being complicated in three dimensions with high integration of a semiconductor integrated circuit device. For this reason, when a predetermined field is etched using said FIB, there are two or more kinds of elements in the secondary particles emitted. However, in said conventional FIB, since only one piece is provided substantially, the secondary particle detector can detect only the total amount of one kind of element, or secondary particles. Since only one kind of element is contained in secondary particles although ultimate analysis is impossible when element structure is a simple two-dimensional structure, structural analysis can be substantially conducted with one detector. However, when there are two or more kinds of elements in secondary particles, since ultimate analysis is impossible, there is a problem of it becoming impossible to conduct structural analysis. Since the boundary of intensity distribution stops clarifying, it becomes impossible in this case, to conduct structural analysis. As a result, since the terminal point judging of etching by FIB becomes difficult, process tolerance falls.

[0013]At said FIB, the number of detectors is one substantially and they need to perform processing by etching, and structure observation by SIM at a separate process. Or after processing by FIB, SEM is used and section observation is performed. For this reason, there was a problem that the time which processing as the whole takes became long.

[0014]Since it was necessary to conduct ultimate analysis by SIMS in order to conduct precise ultimate analysis, there was a problem that the time which failure analysis takes became long.

[0015]With three-dimension-izing of element structure, wiring multilayer-structure-izes and the thickness of the interlayer insulation film between wiring layers is becoming thick. For this reason, the aspect ratio (aspect ratio) of the crevice which removes an interlayer insulation film and exposes the surface of wiring is

becoming large. In this case, since the secondary particles emitted from the deep field of a crevice collided with the side attachment wall of a crevice and stopped having come out of the crevice, there was a problem that the secondary particles of the pars basilaris ossis occipitalis of a crevice were undetectable. [0016]The purpose of this invention is to provide the art which can conduct ultimate analysis and structural analysis in a focused ion beam device.

[0017]Other purposes of this invention are to provide the art which can be improved in process tolerance in a focused ion beam device.

[0018]Other purposes of this invention are to provide the art which can conduct the ultimate analysis and the structural analysis in the crevice where the aspect ratio of a specimen surface is large in a focused ion beam device.

[0019]The other purposes and the new feature will become clear with description and the accompanying drawing of this specification along [ said ] this invention.

[0020]

[Means for Solving the Problem]It will be as follows if an outline of a typical thing is briefly explained among inventions indicated in this application.

[0021](1) A means which carries out sputter etching of the specimen surface of a field where converged, deflected an ion beam, a specimen surface was irradiated, and this ion beam was irradiated, In a focused ion beam device provided with a means by which a secondary particle detector detects secondary particles emitted from this field by which sputter etching was carried out, it has a means to provide two or more of said secondary particle detector substantially, and to deflect a releasing path of said secondary particle.

[0022](2) It has a means to create a picture among secondary particles detected with said secondary particle detector based on information on a secondary electron.

[0023](3) Add a magnetic field in the direction which is in agreement with the direction of radiation of an ion beam from a rear face of a sample which counters a side with which said ion beam is irradiated.

[0024]

[Function]According to the means (1) mentioned above, two or more kinds of secondary particles are separately detectable by having formed the secondary particle detector two or more pieces substantially. For example, an electron and ion are independently detectable. Thereby, ultimate analysis can be conducted. A releasing path is deflected more greatly than secondary particles with heavy weight by having had a means to deflect the releasing path of secondary particles by the secondary particles with light weight. Thereby, since the selectivity of an element can be improved, still more exact ultimate analysis can be conducted. By these, ultimate analysis can be conducted in a focused ion beam device. In a focused ion beam device, structural analysis can be conducted by conducting ultimate analysis.

[0025]In FIB, since ultimate analysis can be conducted, the time which it becomes unnecessary to conduct ultimate analysis using SIMS, and failure analysis takes can be shortened.

[0026]According to the means (2) mentioned above, when processing a specimen surface by an ion beam, since the secondary electron image of a processing area can be obtained to inside, it can be processed, checking a processing condition. Thereby, process tolerance can be improved in a focused ion beam device. Since SEM is used, for example and it becomes unnecessary to observe a processing condition after processing, the time which processing takes can be shortened.

[0027]According to the means (3) mentioned above, by adding a magnetic field from the rear face of a sample, Since secondary particles come out out of a crevice from the inside of the crevice of a specimen surface, especially the crevice where an aspect ratio (aspect ratio) is large, without colliding with the side attachment wall of a crevice, carrying out screw motion, even a secondary particle detector can make secondary particles reach. Thereby, in a focused ion beam device, since ultimate analysis of the pars basilaris ossis occipitalis of the crevice where an aspect ratio (aspect ratio) is large can be conducted, structural analysis can be conducted.

[0028]

[Example]Hereafter, the example of this invention is concretely described using a drawing. In the complete diagram for describing an example, what has the same function attaches identical codes, and explanation of the repetition is omitted.

[0029][Example 1] The composition of the focused ion beam device (henceforth FIB) of Example 1 of this invention is explained using drawing 2 (block diagram). In the drawing 2, only the composition in a column is shown and it omits about portions other than this.

[0030]As shown in drawing 2, in the column of FIB of this example 1, each of the ion source 10, the butler type lenses 12A and 12B, the aperture 13, and the deflection electric fields 14A and 14B is provided.

[0031]From said ion source 10, the gallium ion beam (only henceforth an ion beam) 11 is discharged. In the drawing 1, a broken chain line shows this ion beam 11. The accelerating energy of this ion beam 11 is about 25 KeV, for example. This ion beam 11 converges by said two steps of butler type lenses 12A and 12B, and the five apertures 13. This ion beam 11 that converged is deflected by said deflection electric fields 14A and 14B. This deflected ion beam 11 is irradiated on the sample 1, as shown in the drawing 1. Thus, sputter etching of the surface of the sample 1 is carried out by irradiating the surface of the sample 1 with the ion beam 11 converged and deflected. This sample 1 is, for example, the semiconductor wafer or semiconductor substrate, i.e., the semiconductor device, which make single crystal silicon a subject. As shown in the drawing 2, the crevice 2 (side and bottom) is formed in the surface of the sample 1 by this etching. Thus, when sputter etching of the surface of the sample 1 is carried out by the ion beam 11, the secondary particles begun to beat from the surface of the sample 1 are emitted.

[0032]The secondary particle detector 20 is formed between said deflection electric field 14B and the sample 1. Between this secondary particle detector 20 and sample 1, the electric field by the voltage generator 27 is impressed. The detailed composition of this secondary particle detector 20 is later mentioned using drawing 1 (block diagram).

[0033]The magnetic field 30 is added to the rear face of the sample 1 which counters the side with which said ion beam 11 is irradiated from the direction which is in agreement with the direction of radiation of said ion beam 11. The magnetic field 31 is added in the direction which intersects perpendicularly with said magnetic field 30. The intensity of this magnetic field 31 is weaker than said magnetic field 30.

[0034]Next, the composition of said secondary particle detector 20 is explained using drawing 1. As shown in drawing 1, the secondary particle detector 20 is constituted by the subject in the detector (MicroChannelPlate) 20A. Submicron SIMS" applied physics which used "converged ion beam and the multi-channel parallel detection system about the detector The 56th volume No. 6 (1987) is indicated to P746-P751. Two or more channels 21 are established in this detector 20A. Two or more of these channels

21 are connected to the anode (positive electrode) 23 different, respectively. Two or more of these channels 21 are connected to the common cathode (negative electrode). This common cathode comprises the sample 1. The voltage impressed between said anode 23 and the sample 1 which is cathodes is impressed by the bias 26. Although the bias 26 is accepting one piece and is illustrated by the drawing 1, it comprises several bias 26 different, respectively substantially. Therefore, the detector 20 shown in the drawing 1 can detect simultaneously two or more two-grain following children like the case where two or more detectors 20 are formed, substantially. . That is, detect an electron within a certain channel 21, and detect negative secondary ion within other channels 21. Or since directions for use which detect the positive secondary ion which is in a certain channel 21, and detect secondary ion positive [ other ] within other channels 21 are realizable, ultimate analysis can be conducted. Next, the detecting method of the secondary particles by said secondary particle detector 20 is explained.

[0035]First, the secondary particles 3A and 3B emitted by the sputter etching by the ion beam 11 let the mesh screen 25 pass, and enter in the channel 21. The drawing 1 shows only the locus of the secondary particles 3A which entered in the channel 21 among secondary particles. Thus, if the secondary particles 3A enter in the channel 21, the electron proportional to the quantity of the secondary particles 3A will come out from the wall surface of the channel 21. It increases in snowslide according to the gain 24, and the electron which came out of the wall surface of this channel 21 is sucked up by the anode 23 as the arrow 22 shows. The electron sucked up by this anode 23 is detected as an electrical signal. Detection of the secondary particles 3A is performed by these stages of a series of. The secondary particles 3B and other secondary particles 3 which are not illustrated which are shown in the drawing 1 are detected similarly. It is sorted out whether the secondary particles 3 detected are used as a secondary electron or negative secondary ion by the positive/negative of said bias 24, or it is considered as positive secondary ion. Thus, the electrical signal by a secondary electron is used for mainly creating a specimen surface and the SIM image for section observation among the detected secondary particles 3. It is used for the electrical signal by secondary ion creating the plot of a time change (relation with a dose) of the intensity during processing of the sample for section observation among the secondary particles 3. From this plot, the terminal point judging of whether the substrate (specific film) of the ground appeared can be performed in the case of correction of the mask pattern for producing a semiconductor integrated circuit device.

[0036]Since the magnetic field 31 is added to the discharge course of said secondary particle 3 as mentioned above, the course of the secondary particles 3 is deflected. Thus, since a discharge course is deflected by the magnetic field 31, as shown in the drawing 1, the secondary particles 3A and 3B enter in the channel 21 of the detector 20 in a course different, respectively. For example, rather than the secondary particles 3B, when weight is light, the secondary particles 3A are larger and the secondary particles 3A are deflected, as shown in the drawing 1. Therefore, since the light secondary ion 3A enters in the channel 21 far from the irradiation area of the ion beam 11 and the heavy secondary ion 3B enters in the near channel 21, the secondary ion 3A and 3B can be divided and detected for every kind. Thereby, ultimate analysis of the secondary particles 3 can be conducted.

[0037]For example, electronic weight is  $3.1 \times 10^{-31}$  (kg), and, about 1800 times of electronic weight, and in the case of oxygen ion, the weight of ion is about 16 times the hydrogen ion also in the lightest hydrogen ion case. Therefore, although an electronic discharge course is greatly deflected by said magnetic field 31, since

the small deer deviation of the ion is not carried out, a secondary electron and secondary ion are independently detectable.

[0038]As mentioned above, as explained, in this example 1, the magnetic field 31 is adding as a means to provide two or more of said secondary particle detector 20 substantially, and to deflect the releasing path of said secondary particle. According to this composition, two or more kinds of secondary particles 3A and 3B different, respectively are simultaneously detectable by having formed the secondary particle detector 20 two or more pieces substantially. For example, an electron and ion are independently detectable. Thereby, ultimate analysis can be conducted. A discharge course is deflected more greatly than the secondary particles 3B with heavy weight by the secondary particles 3A with light weight by deflecting the discharge course of the secondary particles 3 by the magnetic field 31. Thereby, since the selectivity of an element can be improved, still more exact ultimate analysis can be conducted. By these, ultimate analysis can be conducted in FIB. In FIB, since ultimate analysis can be conducted, structural analysis can be conducted.

[0039]Since ultimate analysis can be conducted in FIB and it becomes unnecessary to conduct ultimate analysis using SIMS, the time which failure analysis takes can be shortened.

[0040]The ion beam 11 can perform sputter etching, obtaining the SIM elephant (secondary electron image) by a secondary electron by [ said ] having formed the two or more secondary particle detectors 20 substantially. That is, since it is processible, checking a processing condition, process tolerance can be improved. Without using SEM, since the section structure of a processing area is observable, the section observation using SEM is lost and the time which processing takes can be shortened.

[0041]In this example 1, since the bias 26 by the voltage generator 27 is added between said sample 1 and the secondary particle detector 20 and the magnetic field 30 is added to the sample 1, discharge of the secondary particles 3 out of said crevice 2 can be made easy. In this case, to the kinetic energy of said ion beam 11 being 25KeV, since the kinetic energy of said secondary particle 3 is about 10 eV a number thru/or more than 100, the ion beam 11 is hardly influenced by the magnetic field 30, but the secondary particles 3 are influenced greatly. It is emitted carrying out screw motion from the inside of the crevice 2 to the secondary particle detector 20 side. When not adding said magnetic field 30, when the aspect ratio (aspect ratio) of said crevice 2 is large, the secondary particles 3 emitted to the side attachment wall of the crevice 2 collide, and the secondary particles 3 are not emitted to the exterior of the crevice 2, for example. On the other hand, also when said magnetic field 30 is added, the size of said crevice 2 is a 5-micrometer angle grade and the depth is about 10 micrometers, carrying out [ not colliding with the side attachment wall of the crevice 2 ] spiral operation, the secondary particles 3 are emitted out of the crevice 2, and reach even to the secondary particle detector 20. Therefore, in FIB, ultimate analysis of the secondary particles 3 of the pars basilaris ossis occipitalis of the crevice 2 where the aspect ratio of the surface of the sample 1 is large can be conducted.

[0042]As shown in drawing 3 (block diagram showing the modification of FIB of Example 1), two or more said secondary particle detectors 20 may be formed. In this case, as shown in said drawing 1, the anode 23 is not divided into plurality, but what is necessary is just to connect the anode 23 of the secondary particle detectors 20A, 20B, 20C, and 20D to the voltage generators 27A, 27B, 27C, and 27D different, respectively. Each voltage generator 27A, 27B, 27C, and 27D impresses the sample 1 and secondary particle detector voltage for the bias of V1, V2, V3, and V4 between 20A, 20B, 20C, and 20D. According to this composition,



rather than the case where it is shown in said drawing 1 and drawing 2, since more secondary particles 3 are detectable, detection sensitivity can be enlarged.

[0043]In the case of FIB shown in the drawing 3, heavy secondary ion is detectable from light secondary ion one by one by each of the secondary particle detectors 20A, 20B, 20C, and 20D by enlarging intensity of steps and the magnetic field 31 from the sample 1 side. In any [ of a positive ion and an anion ] case, this is applicable.

[0044][Example 2] The composition of FIB of Example 2 of this invention is explained using drawing 4 and drawing 5 (block diagram).

[0045]It is made for FIB of this example 2 to spray the gas 42 on the irradiation area of the ion beam 11 by the ultralow volume nozzle 40 in FIB of said Example 1, as shown in drawing 4 and drawing 5.

[0046]The gas 42 is supplied to said ultralow volume nozzle 40 via each of a needle valve and the control valve 41 from RIZAIBA installed in the sample chamber exterior. The flow of the gas 42 is controlled by a needle valve, and introduction and interception of the gas 42 are performed by the control valve 41. This control valve 41 is controlled electrically.

[0047]In this example 2, oxygen gas is supplied as the gas 42 from the ultralow volume nozzle 40. Thus, an irradiation area becomes oxygen environment by supplying oxygen gas to exposure \*\*\*\* of the ion beam 11. In oxygen environment, since oxygen collides with the secondary particles 3A and 3B emitted by the plasma state, it reacts and the ionization efficiency of the secondary particles 3A and 3B improves. When gallium ion guns or caesium ion guns are used, Since the ionization efficiency of an element with low electronegativity of elements other than an element with high electronegativity of carbon, oxygen, nitrogen, fluoride, etc., for example, an alkaline metal, a group II element, group III elements, etc. is low, these elements are undetectable. on the other hand, the case where detection sensitivity uses very high oxygen ion guns since the ionization efficiency of elements of an except, such as carbon, oxygen, nitrogen, and fluoride, was improved by making the irradiation area of the ion beam 11 into oxygen environment and until [ comparable ] detection sensitivity — for example, it can improve. for example, the thing for which the irradiation area of an ion beam is made into oxygen environment — detection sensitivity, such as an alkaline metal, a group II element, and group III elements, --  $10^{-4}$  (ing) thru/or  $10^{-6}$  grade improvement can be carried out.

[0048][Example 3] The composition of FIB of this invention example 3 is explained using drawing 6 (block diagram).

[0049]As shown in drawing 6, FIB of this example 3 forms the detector 28 which detects light or energy to the secondary particle detector 20 in FIB of said Example 1.

[0050]After the sample 1 which is a semiconductor device absorbs energies, such as light, an ionic line, and an electron beam, it is generated by the carrier, and it changes to the original ground state and recombines with it. In the case of this recombination, as shown in the drawing 6, discharge of energy may take place in the form of the light 4. Since this light 4 emitted has the wavelength distribution corresponding to an element, it can identify the substance in the sample 1 by conducting wavelength analysis with the detector 28. An easy spectroscopy may be formed between the detector 28 and the sample 1.

[0051]Or since it will be generated by the carrier if the sample 1 is irradiated with the light of wavelength shorter than the wavelength expressed with  $\lambda(\text{nm}) = hc/E = 1239.9/E$ , the electrical resistance of the

sample 1 changes low. Here, it is the energy (eV unit) with which  $h$  is equivalent to the constant of a plank,  $c$  is equivalent to the speed of light, and  $E$  is equivalent to forbidden-band width. Thus, the energy state of the sample 1 is detectable using a photoconduction phenomenon.

[0052]Heat energy may be released when taking the form of an atomic (lattice) vibration which constitutes the crystal other than discharge of light. Also in this case, like the case where light is detected, by detecting a heat wave with the detector 28, a crystal defect can be detected or an impurity element can be detected.

[0053][Example 4] The composition of FIB of Example 4 of this invention is explained using drawing 7 (block diagram).

[0054]As shown in drawing 7, the W light source 52 is used for primary particles in FIB of this example 4.

[0055]In this case, a course is bent on the blanking aperture 51 with the blanking plate 50, and the ion beam 11 from said ion source 10 does not reach to the sample 1. Voltage is impressed to the blanking plate 50.

[0056]On the other hand, the light 53 of the suitable wavelength irradiated from the W light source 52 is irradiated by the sample 1. Thus, since the light 4 occurs by irradiating the sample 1 with the light 53, the detector 28 detects this generated light 4 like said Example 3.

[0057]It can use like SEM by converging, deflecting the electron beam from the W light source 52, and combining with astigmatizer.

[0058]As said Example 1 thru/or this example 4 showed, the intensity distribution figure shown in drawing 8 (intensity distribution figure) can be obtained by using the electrical signal acquired by detecting a secondary electron, secondary ion, and light.

[0059]Drawing 8 shows each intensity distribution of the oxygen 60, the aluminum 61, and the molybdenum 62. Here, the structural analysis to the portions of the aluminum 61 and the oxygen 60 can be conducted, for example by copying out only the information on the element of the energy below energy  $E_0$  of the drawing 8 on CRT.

[0060]As mentioned above, although this invention was concretely explained based on the example, it cannot be overemphasized that it can change variously in the range which this invention is not limited to said example and does not deviate from the gist.

[0061]For example, although said Example 1 thru/or Example 4 showed the example which mainly uses the SIM elephant of the irradiation area of the ion beam 11, this invention can observe an irradiation area using laser or an optical microscope.

[0062]Still more exact ultimate analysis and structural analysis can be conducted by applying the function of SIMS and SEM to FIB.

[0063]

[Effect of the Invention]It will be as follows if the effect acquired by the typical thing among the inventions indicated in this application is explained briefly.

[0064]Ultimate analysis and structural analysis can be conducted in FIB.

[0065]Process tolerance can be improved in said FIB.

[0066]In said FIB, the ultimate analysis and the structural analysis in the crevice where the aspect ratio of a specimen surface is large can be conducted.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The block diagram showing the composition of the secondary particle detector of Example 1.

[Drawing 2] The block diagram showing the composition of FIB of Example 1.

[Drawing 3] The block diagram showing the modification of FIB of Example 1.

[Drawing 4] The block diagram showing the composition of FIB of Example 2.

[Drawing 5] The block diagram showing the composition of the ultralow volume nozzle part of Example 2.

[Drawing 6] The block diagram showing the composition of FIB of Example 3.

[Drawing 7] The block diagram showing the composition of FIB of Example 4.

[Drawing 8] Intensity distribution figure.

[Description of Notations]

1 [ — Ion beam, ] — A sample, 2 — A crevice, 3A, 3 B—secondary particles, 10 — Ion guns, 11 12A, 12B  
 [ — A detector 21 / — A channel 23 / — An anode 24 / — A gain 25 / — A mesh screen 26 / — Bias, 27  
 / — A voltage generator 30, 31 / — Magnetic field. ] — A butler type lens, 13 — An aperture, 14A, 14B —  
 A deflection electric field, a 20—secondary particle detector, 20A

---

[Translation done.]

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成6年(1994)4月8日

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 イオンビームを集束、偏向させて試料表面に照射し、該イオンビームが照射された領域の試料表面をスパッタエッチングする手段と、該スパッタエッチングされた領域から放出される2次粒子を2次粒子検出器で検出する手段とを備えた集束イオンビーム装置において、前記2次粒子検出器を実質的に2個以上設け、かつ、前記2次粒子の放出経路を偏向させる手段を備えたことを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項2】 前記2次粒子検出器で検出された2次粒子のうち、2次電子の情報に基づき画像を作成する手段を備えたことを特徴とする前記請求項1に記載の集束イオンビーム装置。

【請求項3】 前記イオンビームが照射される側と対向する試料の裏面から、イオンビームの照射方向と一致する方向に磁界を加えたことを特徴とする前記請求項2に記載の集束イオンビーム装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路装置の不良解析に使用される装置に関し、特に、集束イオンビーム装置に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路装置の高集積化、微細化に伴い、最小加工寸法は、 $0.5\mu\text{m}$ 以下になってきている。このため、半導体集積回路装置の不良解析を行なうために、集束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)装置(以下、FIBという)が使用されている。FIBを用いることにより、 $0.5\mu\text{m}$ 以下の微細領域の断面加工を行なうことができる。FIB装置に関しては、例えば、(1) K. Nikawa et al.; New applications of focused ion beam technique to failure analysis and process monitoring of VLSI; 27th annual proceedings of International Reliability Physics Symposium, P43 (1989)、(2) 穴澤 紀道、相原 龍三: 応用物理53 (1984) 193、に記載されている。

【0003】前記文献に記載されているように、FIBでは、イオンガン(イオン銃)から発射されるイオンビームを、集束、偏向させて、試料に照射する。イオン源としては、ガリウムが用いられる。試料にガリウムイオンビームを照射することにより、試料表面がスパッタエッチングされる。イオンビームのビーム径は、50乃至500nm程度である。このように、試料表面をスパッタエッチングすることにより、試料表面から2次粒子が放出される。前記FIBには、この放出された2次粒子を検出する2次粒子検出器が実質的に1個組込まれている。この2次粒子検出器を用いて、放出される2次粒子のうち2次電子と負の2次イオンまたは正の2次イオンのいずれかを検出できるので、ドーズ量と2次粒子の強

度をグラフ化することにより、素子構造が単純な3次元構造(例えば照射領域でx方向、y方向が一樣でz方向のみ異なるアルミニウムとケイ素が積層構造)をもつ試料で、下地を露出させたい時に、加工時の終点判定を行なうことができる。

【0004】また、このFIBには、走査型イオン顕微鏡(SIM: Scanning Ion Microscope: 以下、SIMという)機能が備えられている。SIM像は、前記FIBのイオンビームを照射することにより放出される2次電子を、前記検出器により検出し、この検出された2次電子による画像を作成するものである。前記FIBでは、前記イオンガン、検出器の夫々を、FIB時とSIM時で切り換えて使用し、2次イオンの強度測定、2次電子によるSIM像の作成を別々に行なっている。

【0005】以下に、FIBを用いた不良解析の方法を説明する。

【0006】まず、FIBに内蔵されるSIM機能により、ビームを細く絞って、試料表面の形状を観察する。この後、電流を多くした(ビームは太くなる)イオンビームを、希望する断面が露出するように、その断面の前方の領域をX方向、Y方向に走査させて、この領域を除去する。この際、試料の2次元構造(x方向、y方向)が一樣で、3次元で深さのみ異なるような単純構造の時には、前述のように、2次粒子を検出することにより、ドーズ量と2次粒子の強度をグラフ化し、エッチングの終点判定を行なう。この様に、2次粒子の強度により、素子構造が簡単な3次元構造の場合には、元素の種類は判定できないが元素が違ふことが検出できる。

【0007】なお、素子構造が複雑な3次元構造の場合には、後述するように、2次イオン質量分析計(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometer: 以下、SIMSという)が用いられる。SIMSについては、例えば、(1) マイクロビームアナリシス第141委員会、1985年発行「マイクロビームアナリシス」P289~P318、(2) 「電子材料」1983年 別冊P120に記載されている。

【0008】次に所望の断面を露出した試料(断面観察試料)を再び、イオンビームを細く絞り、SIM像で断面観察する。この時、試料台ステージを傾斜させて加工した穴の側面を観察する。すると、断面の凹凸の形状、凹凸がなくても2次粒子の発生量の差から元素の違い等の深さ方向の分布が観察できる。ただし、SIM像の分解能は、前述したように50nmである。

【0009】断面の微細構造の観察が必要な場合には、次に述べる前記所望の断面を露出させ加工した試料を、走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope: 以下、SEMという)により断面観察する。SEMの分解能は4nm程度なので、SIMよりは非常に微細な構造を観察できる。SIM、SEMを用いても元素の同定はできない。ここで元素分析を行うには、

多く(1%以上)含まれている場合には、EPMA(Electron Probe Mass Analysis: X線マイクロアナリシス)が微量の場合には、SIMSが用いられる。なお、EPMAについては、例えば(1)マイクロビームアナリシス第141委員会、1985年発行「マイクロビームアナリシス」P207~P235、(2)S. M. SZE「VLSI Technology」P533、に記載されている。これらの一連の手段により、不良解析は行なわれる。

【0010】なお、SEMを用いた断面観察用の試料を作成するには、FIBを用いる他に、機械研磨法、クラッキング法がある。しかし、機械研磨法の場合、試料を光学顕微鏡を用いて加工しているので、寸法精度は0.5μm程度であり、0.5μm未満の微小領域を観察できないという問題がある。また、クラッキング法の場合には、寸法精度が0.5μm以上であり、機械研磨法の場合と同様に、1μm未満の微小領域を観察できないという問題がある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者は、前記従来技術を検討した結果、以下のような問題点を見出した。

【0012】前述したように、半導体集積回路装置の高集積化に伴い、素子の構造が3次元的に複雑化してきている。このため、前記FIBを用いて所定の領域をエッチングした場合、放出される2次粒子中には、複数種類の元素がある。しかし、前記従来のFIBでは、2次粒子検出器は実質的に1個しか設けられていないため、一種類の元素または2次粒子の総量しか検出できない。素子構造が単純な2次元構造の場合には、元素分析はできないが2次粒子中には一種類の元素しか含まれていないので、実質的に1個の検出器により構造解析を行なうことができる。しかし、2次粒子中に複数種類の元素がある場合には、元素分析ができないので構造解析を行なうことができなくなるとい問題がある。この場合には、強度分布の境界がはっきりしなくなるので、構造解析を行なうことができなくなる。この結果、FIBによるエッチングの終点判定が難しくなるので、加工精度が低下する。

【0013】また、前記FIBでは、検出器は実質的に1個であり、エッチングによる加工とSIMによる構造観察を別々の工程で行なう必要がある。または、FIBによる加工後に、SEMを用いて断面観察を行なっている。このため、全体としての加工に要する時間が長くなるという問題があった。

【0014】また、精密な元素分析を行なうためには、SIMSによる元素分析を行なう必要があるため、不良解析に要する時間が長くなるという問題があった。

【0015】また、素子構造の3次元化に伴い、配線が多層構造化し、配線層間の層間絶縁膜の厚さが厚くなっ

てきている。このため、層間絶縁膜を除去して配線の表面を露出する凹部の縦横比(アスペクト比)が大きくなってきている。この場合、凹部の深い領域から放出される2次粒子は、凹部の側壁に衝突し、凹部の外まで出てこなくなるので、凹部の底部の2次粒子を検出できないという問題があった。

【0016】本発明の目的は、集束イオンビーム装置において、元素分析及び構造解析を行なうことが可能な技術を提供することにある。

【0017】本発明の他の目的は、集束イオンビーム装置において、加工精度を向上することが可能な技術を提供することにある。

【0018】本発明の他の目的は、集束イオンビーム装置において、試料表面の縦横比が大きい凹部内の元素分析及び構造解析を行なうことが可能な技術を提供することにある。

【0019】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

【0020】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

【0021】(1)イオンビームを集束、偏向させて試料表面に照射し、このイオンビームが照射された領域の試料表面をスパッタエッチングする手段と、このスパッタエッチングされた領域から放出される2次粒子を2次粒子検出器で検出する手段とを備えた集束イオンビーム装置において、前記2次粒子検出器を実質的に2個以上設け、かつ、前記2次粒子の放出経路を偏向させる手段を備える。

【0022】(2)前記2次粒子検出器で検出された2次粒子のうち、2次電子の情報に基づき画像を作成する手段を備える。

【0023】(3)前記イオンビームが照射される側と対向する試料の裏面から、イオンビームの照射方向と一致する方向に磁界を加える。

【0024】

【作用】前述した手段(1)によれば、2次粒子検出器を実質的に2個以上設けたことにより、2種類以上の2次粒子を別個に検出できる。例えば、電子とイオンを別々に検出できる。これにより、元素分析を行なうことができる。更に、2次粒子の放出経路を偏向させる手段を備えたことにより、重量の軽い2次粒子は、重量の重い2次粒子より大きく放出経路を偏向させられる。これにより、元素の選択性を向上できるので、更に、正確な元素分析を行なうことができる。これらにより、集束イオンビーム装置において、元素分析を行なうことができる。また、集束イオンビーム装置において、元素分析を行なうことにより、構造解析を行なうことができる。

【0025】また、FIBにおいて、元素分析を行なうことができるので、SIMSを用いて元素分析を行なう必要がなくなり、不良解析に要する時間を短縮できる。

【0026】前述した手段(2)によれば、試料表面をイオンビームで加工する際に、加工領域の2次電子画像を得ることができるので、加工状況を確認しながら加工できる。これにより、集束イオンビーム装置において、加工精度を向上できる。また、加工後に、例えばSEMを用いて加工状況を観察する必要がなくなるので、加工に要する時間を短縮できる。

【0027】前述した手段(3)によれば、試料の裏面から磁界を加えることにより、試料表面の凹部、特に縦横比(アスペクト比)が大きい凹部内から、2次粒子は螺旋運動しながら、凹部の側壁に衝突することなく凹部の外まで出てくるので、2次粒子検出器まで2次粒子を到達させることができる。これにより、集束イオンビーム装置において、縦横比(アスペクト比)が大きい凹部の底部の元素分析を行なうことができるので、構造解析を行なうことができる。

【0028】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて具体的に説明する。なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは、同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0029】〔実施例1〕本発明の実施例1の集束イオンビーム装置(以下FIBという)の構成を、図2(ブロック図)を用いて説明する。なお、同図2では、コラム内の構成のみ示し、これ以外の部分については省略する。

【0030】図2に示すように、本実施例1のFIBのコラム内には、イオン源10、パトラ型レンズ12A、12B、アパーチャ13、偏向電場14A、14Bの夫々が設けられている。

【0031】前記イオン源10からは、ガリウムイオンビーム(以下、単にイオンビームという)11が発射される。なお、同図1では、このイオンビーム11を鎖線で示す。このイオンビーム11の加速エネルギーは、例えば、25KeV程度である。このイオンビーム11は、前記2段のパトラ型レンズ12A、12B及び5種類あるアパーチャ13により集束される。この集束されたイオンビーム11は、前記偏向電場14A、14Bにより、偏向される。この偏向されたイオンビーム11は、同図1に示すように、試料1上に照射される。このように、集束、偏向されたイオンビーム11を試料1の表面に照射することにより、試料1の表面をスパッタエッチングする。この試料1は、例えば、単結晶珪素を主体とする半導体ウェーハまたは半導体基板すなわち半導体デバイスである。このエッチングにより、同図2に示すように、試料1の表面には凹部2(側面並びに底面)が形成されている。このように、試料1の表面をイオン

ビーム11でスパッタエッチングした際には、試料1の表面から叩き出された2次粒子が放出される。

【0032】前記偏向電場14Bと試料1との間には、2次粒子検出器20が設けられている。この2次粒子検出器20と試料1の間には、電圧発生器27による電界が印加されている。この2次粒子検出器20の詳細な構成は、図1(ブロック図)を用いて後述する。

【0033】また、前記イオンビーム11が照射される側と対向する試料1の裏面には、前記イオンビーム11の照射方向と一致する方向から、磁界30が加えられている。更に、前記磁界30と直交する方向には、磁界31が加えられている。この磁界31は、前記磁界30よりも強度は弱い。

【0034】次に、前記2次粒子検出器20の構成を、図1を用いて説明する。図1に示すように、2次粒子検出器20は、検出器(Micro Channel Plate)20Aを主体に構成されている。なお、検出器については「収束イオンビームとマルチチャネル並列検出系を用いたサブミクロンSIMS」応用物理 第56巻 第6号(1987) P746~P751に記載されている。この検出器20A内には、複数のチャネル21が設けられている。これらの複数のチャネル21は、夫々異なるアノード(正電極)23に接続されている。また、これらの複数のチャネル21は、共通のカソード(負電極)に接続されている。この共通のカソードは、試料1で構成されている。前記アノード23とカソードである試料1との間に印加される電圧は、バイアス26により印加されている。なお、バイアス26は、同図1では1個のみ図示しているが、実質的に、複数の夫々異なるバイアス26で構成されている。従って、同図1に示す検出器20は、実質的に、複数の検出器20を設けた場合と同様に、複数の2次粒子を同時に検出できる。つまり、あるチャネル21内で電子を検出し、他のチャネル21内では負の2次イオンを検出する、または、あるチャネル21内である正の2次イオンを検出し、他のチャネル21内で他の正の2次イオンを検出するような使用方法を実現できるので、元素分析を行なうことができる。次に、前記2次粒子検出器20による2次粒子の検出方法を説明する。

【0035】まず、イオンビーム11によるスパッタエッチングによって放出された2次粒子3A、3Bは、メッシュスクリーン25を通して、チャネル21内に入る。同図1では、2次粒子のうちチャネル21内に入った2次粒子3Aの軌跡のみを示す。このように、チャネル21内に2次粒子3Aが入ると、チャネル21の壁面より、2次粒子3Aの量に比例した電子が出る。このチャネル21の壁面から出た電子は、ゲイン24により雪崩的に増殖され、矢印22で示すように、アノード23に吸い上げられる。このアノード23に吸い上げられた電子は、電気信号として検出される。これらの一連の段

7

階により、2次粒子3Aの検出は行なわれる。なお、同図1に示す2次粒子3B及び図示しない他の2次粒子3も同様に検出される。また、前記バイアス24の正負により、検出される2次粒子3を2次電子または負の2次イオンとするか正の2次イオンとするかを選別する。このようにして検出された2次粒子3のうち2次電子による電気信号は、主に試料表面並びに断面観察用のSIM像を作成するのに使用される。また、2次粒子3のうち、2次イオンによる電気信号は断面観察用試料の加工中に、その強度の時間的変動（ドーズ量との関係）のプロットを作成するのに使用される。このプロットから、半導体集積回路装置を作製するためのマスクパターンの修正の際、下地の基板（特定の膜）が現われたか否かの

【0036】また、前述したように、前記2次粒子3の放出経路には、磁界31が加えられているので、2次粒子3の径路は偏向される。このように、磁界31により放出経路が偏向されるので、同図1に示すように、2次粒子3A、3Bは、夫々異なる径路で検出器20のチャンネル21内に入る。例えば、2次粒子3Aの方が、2次粒子3Bよりも重量が軽い場合には、同図1に示すように、2次粒子3Aの方がより大きく偏向される。従って、イオンビーム11の照射領域から遠いチャンネル21内には軽い2次イオン3Aが入り、近いチャンネル21内には重い2次イオン3Bが入るので、2次イオン3A、3Bを種類毎に分けて検出できる。これにより、2次粒子3の元素分析を行なうことができる。

【0037】また、例えば、電子の重量は $3.1 \times 10^{-31}$  (kg)であり、イオンの重量は一番軽い水素イオン場合でも電子の重量の約1800倍、酸素イオンの場合には水素イオンの約16倍である。従って、前記磁界31によって、電子の放出経路は大きく偏向されるが、イオンは僅かしか偏向されないので、2次電子と2次イオンを別々に検出できる。

【0038】以上、説明したように、本実施例1では、前記2次粒子検出器20を実質的に2個以上設け、かつ、前記2次粒子の放出経路を偏向させる手段として磁界31が加えている。この構成によれば、2次粒子検出器20を実質的に2個以上設けたことにより、2種類以上の夫々異なる2次粒子3A、3Bを同時に検出できる。例えば、電子とイオンを別々に検出できる。これにより、元素分析を行なうことができる。更に、磁界31により2次粒子3の放出経路を偏向させることにより、重量の軽い2次粒子3Aは、重量が重い2次粒子3Bより大きく放出経路を偏向させられる。これにより、元素の選択性を向上できるので、更に、正確な元素分析を行なうことができる。これらにより、FIBにおいて、元素分析を行なうことができる。また、FIBにおいて、元素分析を行なうことができるので、構造解析を行なうことができる。

8

【0039】更に、FIBにおいて元素分析を行なうことができるので、SIMSを用いた元素分析を行なう必要がなくなるので、不良解析に要する時間を短縮できる。

【0040】更に、前記実質的に2個以上の2次粒子検出器20を設けたことにより、2次電子によるSIM象（2次電子画像）を得ながら、イオンビーム11によりスパッタエッチングを行なうことができる。つまり、加工状況を確認しながら加工できるので、加工精度を向上できる。また、SEMを用いることなく、加工領域の断面構造を観察できるので、SEMを用いた断面観察をなくし、加工に要する時間を短縮できる。

【0041】また、本実施例1では、前記試料1と2次粒子検出器20の間には電圧発生器27によるバイアス26が加えられると共に、試料1に磁界30が加えられているので、前記凹部2内からの2次粒子3の放出を容易にできる。この場合には、前記イオンビーム11の運動エネルギーが25 KeVなのに対して、前記2次粒子3の運動エネルギーは数乃至百数十eV程度なので、イオンビーム11は磁界30の影響をほとんど受けないが、2次粒子3は大きく影響を受ける。凹部2内から2次粒子検出器20側へ螺旋運動しながら放出される。前記磁界30を加えない場合、例えば、前記凹部2の縦横比（アスペクト比）が大きい場合には、凹部2の側壁に放出された2次粒子3が衝突して、凹部2の外部まで2次粒子3が放出されない。これに対して、前記磁界30を加えた場合には、前記凹部2の寸法が5  $\mu$ m角程度、深さが10  $\mu$ m程度の場合にも、2次粒子3は凹部2の側壁に衝突せず螺旋動作しながら、凹部2の外まで放出され、2次粒子検出器20まで到達する。従って、FIBにおいて、試料1の表面の縦横比が大きい凹部2の底部の2次粒子3の元素分析を行なうことができる。

【0042】また、図3（実施例1のFIBの変形例を示すブロック図）に示すように、前記2次粒子検出器20を複数個設けても良い。この場合には、前記図1に示したようにアノード23を複数個に分割せず、2次粒子検出器20A、20B、20C、20Dのアノード23を夫々異なる電圧発生器27A、27B、27C、27Dに接続すれば良い。夫々の電圧発生器27A、27B、27C、27Dは、V1、V2、V3、V4のバイアスを、試料1と2次粒子検出器電圧を20A、20B、20C、20Dの間に印加する。この構成によれば、前記図1及び図2に示す場合よりも、より多くの2次粒子3を検出できるので、検出感度を大きくできる。

【0043】また、同図3に示すFIBの場合には、試料1側から段々と磁界31の強度を大きくすることにより、2次粒子検出器20A、20B、20C、20Dの夫々で、軽い2次イオンから重い2次イオンを順次検出できる。これは正イオン、負イオンのいずれの場合にも適用できる。



【0044】〔実施例2〕本発明の実施例2のFIBの構成を、図4及び図5（ブロック図）を用いて説明する。

【0045】図4及び図5に示すように、本実施例2のFIBは、前記実施例1のFIBにおいて、極微量ノズル40により、イオンビーム11の照射領域にガス42を吹きつけるようにしたものである。

【0046】前記極微量ノズル40には、試料室外部に設置されたりザイバからニードルバルブ、制御バルブ41の夫々を介して、ガス42が供給される。ガス42の流量はニードルバルブにより制御され、ガス42の導入及び遮断は制御バルブ41により行なわれる。この制御バルブ41は、電気的に制御されている。

【0047】本実施例2では、極微量ノズル40からガス42として例えば酸素ガスが供給される。このように、イオンビーム11の照射領域に酸素ガスを供給することにより、照射領域は酸素雰囲気になる。酸素雰囲気中では、酸素がプラズマ状態で放出される2次粒子3A、3Bと衝突するので、反応して2次粒子3A、3Bのイオン化効率が向上される。ガリウムイオンガンまたはセシウムイオンガンを用いた場合には、炭素、酸素、窒素、フッ素等の電気陰性度が高い元素以外の元素、例えば、アルカリ金属、II族元素、III族元素等の電気陰性度が低い元素のイオン化効率が低いため、これらの元素を検出することができない。これに対して、イオンビーム11の照射領域を酸素雰囲気にするることにより、炭素、酸素、窒素、フッ素等以外の元素のイオン化効率を向上できるので、検出感度が非常に高い酸素イオンガンを用いた場合と同程度まで検出感度を例えば向上できる。例えば、イオンビームの照射領域を酸素雰囲気にするることにより、アルカリ金属、II族元素、III族元素等の検出感度を、 $10^4$ 乃至 $10^6$ 程度向上できる。

【0048】〔実施例3〕本発明実施例3のFIBの構成を、図6（ブロック図）を用いて説明する。

【0049】図6に示すように、本実施例3のFIBは、前記実施例1のFIBにおいて、2次粒子検出器20に換えてまたは加えて、光またはエネルギーを検出する検出器28を設けたものである。

【0050】半導体デバイスである試料1が、光、イオン線、電子線等のエネルギーを吸収した後は、キャリアが発生し、元の基底状態に遷移して再結合する。この再結合の際には、同図6に示すように、光4の形でエネルギーの放出が起こることがある。この放出される光4は、元素に対応した波長分布を持つので、検出器28で波長解析を行なうことにより、試料1中の物質を同定できる。また、検出器28と試料1との間に、簡単な分光器を設けても良い。

【0051】または、試料1に、 $\lambda(\text{nm}) = hc/E = 1239.9/E$ で表わされる波長より短い波長の光を照射すれば、キャリアが発生するため、試料1の電気抵抗が

低く変化する。ここで、 $h$ はプランクの定数、 $c$ は光速度、 $E$ は禁制帯幅に相当するエネルギー（eV単位）である。このように、光導電現象を用いて、試料1のエネルギー状態を検出できる。

【0052】また、光の放出の他には、結晶を構成している原子（格子）振動の形をとる場合、すなわち、熱エネルギーが放出される場合もある。この場合にも、光を検出する場合と同様に、熱波を検出器28で検出することにより、結晶欠陥を検出したり、不純物元素を検出できる。

【0053】〔実施例4〕本発明の実施例4のFIBの構成を、図7（ブロック図）を用いて説明する。

【0054】図7に示すように、本実施例4のFIBでは、1次粒子にW光源52を用いたものである。

【0055】この場合には、前記イオン源10からのイオンビーム11は、ブランピングプレート50により進路がブランピングアパーチャ51上に曲げられ、試料1まで到達しない。ブランピングプレート50には、電圧が印加されている。

【0056】一方、W光源52から照射される適当な波長の光53は、試料1に照射される。このように、試料1に光53を照射することにより、光4が発生するので、この発生した光4を、前記実施例3と同様に検出器28で検出する。

【0057】また、W光源52からの電子ビームを、集束、偏向させ、非点収差レンズと組み合わせることにより、SEMのように利用できる。

【0058】なお、前記実施例1乃至本実施例4で示したように、2次電子、2次イオン、光を検出して得られた電気信号を用いることにより、図8（強度分布図）に示す強度分布図を得ることができる。

【0059】図8では、酸素60、アルミニウム61、モリブデン62の夫々の強度分布を示す。ここで、同図8のエネルギーE、以下のエネルギーの元素の情報のみをCRTに写し出すことにより、例えば、アルミニウム61と酸素60の部分に対する構造解析を行なうことができる。

【0060】以上、本発明を実施例にもとづき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

【0061】例えば、前記実施例1乃至実施例4では、イオンビーム11の照射領域のSIM象を主に用いる例を示したが、本発明は、レーザまたは光学顕微鏡を用いて照射領域を観察できる。

【0062】また、FIBにSIMS、SEMの機能を加えることにより、更に正確な元素分析、構造解析を行なうことができる。

【0063】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち代表

11

的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

【0064】FIBにおいて、元素分析及び構造解析を行なうことができる。

【0065】前記FIBにおいて、加工精度を向上できる。

【0066】前記FIBにおいて、試料表面の縦横比が大きい凹部内の元素分析及び構造解析を行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1の2次粒子検出器の構成を示すブロック図。

【図2】 実施例1のFIBの構成を示すブロック図。

【図3】 実施例1のFIBの変形例を示すブロック図。

12

【図4】 実施例2のFIBの構成を示すブロック図。

【図5】 実施例2の極微量ノズル部分の構成を示すブロック図。

【図6】 実施例3のFIBの構成を示すブロック図。

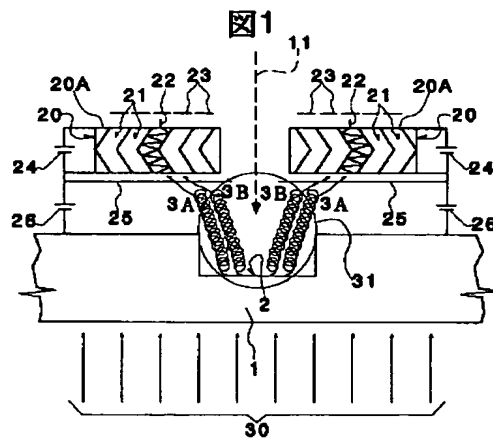
【図7】 実施例4のFIBの構成を示すブロック図。

【図8】 強度分布図。

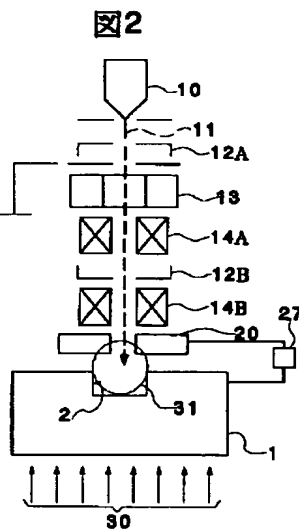
【符号の説明】

1…試料、2…凹部、3A、3B…2次粒子、10…イオンガン、11…イオンビーム、12A、12B…パトラ型レンズ、13…アパーチャ、14A、14B…偏向電場、20…2次粒子検出器、20A…検出器、21…チャンネル、23…アノード、24…ゲイン、25…メッシュスクリーン、26…パイアス、27…電圧発生器、30、31…磁界。

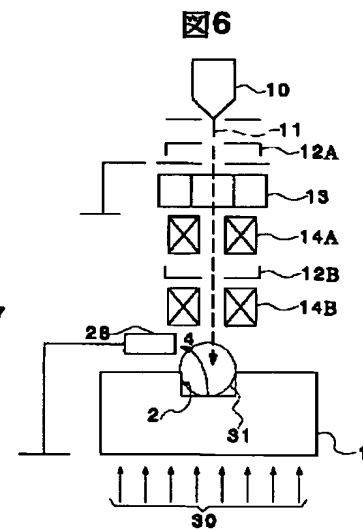
【図1】



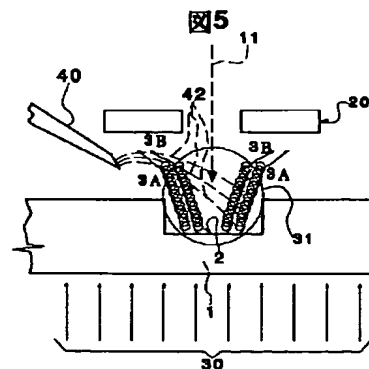
【図2】



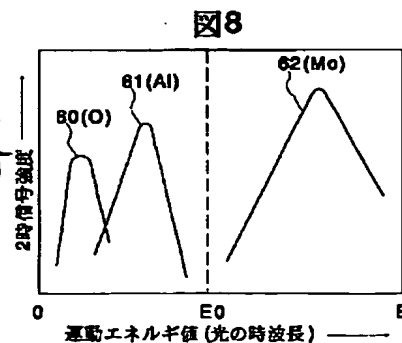
【図6】



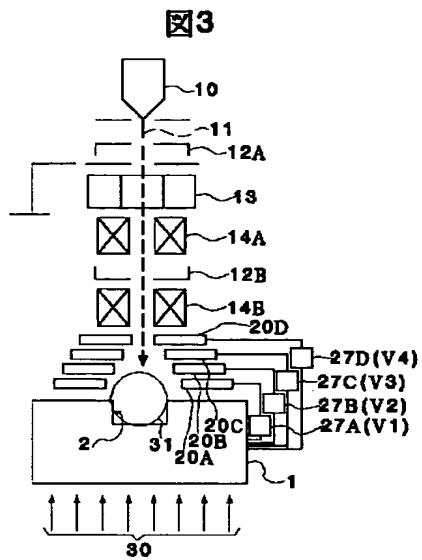
【図5】



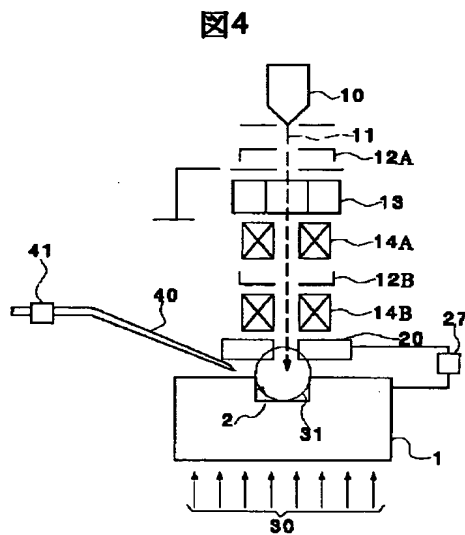
【図8】



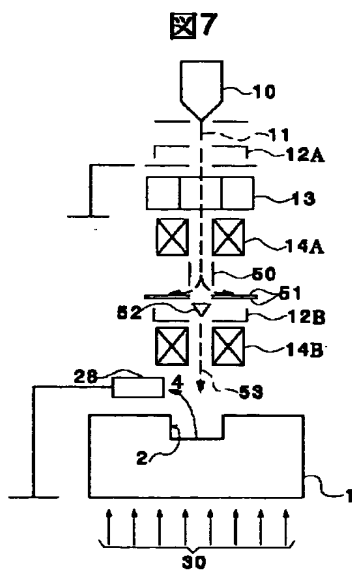
【図3】



【図4】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 21/302

21/66

識別記号

庁内整理番号

D 9277-4M

N 7377-4M

F I

技術表示箇所